Univerza v Ljubljani

Fakulteta za elektrotehniko

Obdelava in analiza slike II

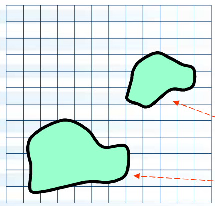
Stanislav Kovačič

http://vision.fe.uni-lj.si/

Področja v sliki

Slika je sestavljena iz področij
- področja, ki pripadajo 'ozadju' (ozadje) in
- področja, ki pripadajo predmetom (objektom zanimanja).

Segmentacija (razgradnja, razčlenitev)
- razgradnja slike na sestavne dele



Slika, Ozadje, Predmet(i)

$$\mathbf{R_I = R_B \cup R_O}$$

$$\mathbf{R_O = \cup_j \; R_j}$$

Povezana področja

Op.: $\cap_i \; \mathbf{R_i} = \emptyset$

Iz vsebine

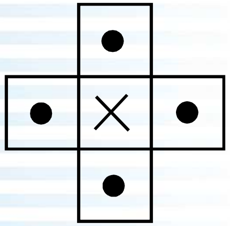
- Segmentacija slik
- Iskanje – označevanje področij
- Morfološko filtriranje
- Opis oblike z obrisom
- Geometrijske transformacije
- Merjenje podobnosti, poravnavanje

Opis področja v sliki

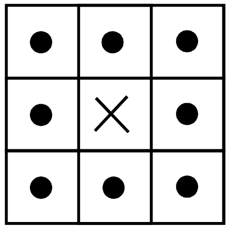
- Področja predstavimo z mejami (robovi) – s slikovnimi elementi, ki so na meji med področji.
- Področje predstavimo s slikovnimi elementi, ki mu pripadajo. Poiščemo vse povezane slikovne elemente in jih označimo.
  - Rast področij (Angl. Region growing)
    Algoritmi za označevanje (Angl. Labeling) ali 'barvanje' (Angl. Coloring).
  - Cepljenje in združevanje (Angl. Split and Merge).

Definicija povezanosti

Povezanost 4



Povezanost 8



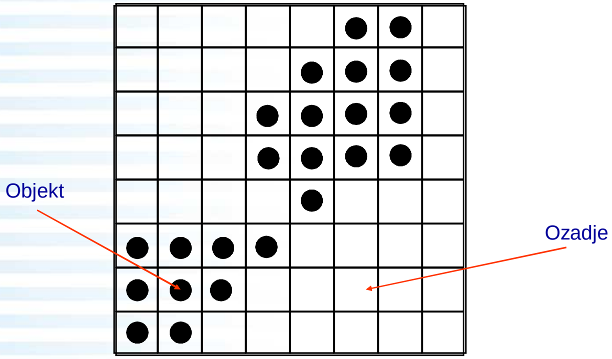
● Sosed – neposredno povezan z izbranim ✕ slikovnim elementom
Okolica – soseščina, množica neposrednih sosedov

Označevanje

- Poiščemo prvega – kateregakoli od slikovnih elementov, ki pripada področju – seme (Angl. Seed)
- Njemu (enega za drugim) pridružimo sosede - z njim povezane slikovne elemente – označimo z isto oznako oziroma 'barvo'.
- Klasičen primer rekurzije
  (imenovane v tem primeru tudi poplavljanje (Angl. Flooding)
  Če je sosed 'primeren', ga obiščem in pobarvam.

- V primeru sivinske slike je razen povezanosti potrebno definirati še kriterij 'pripadnosti' k področju oz. kriterij *homogenosti*.
  Soseda pridružim, če je izpolnjen pogoj homogenosti.
  Rast področij (Angl. Region growing).

Definicija povezanosti



Je množica točk objekta povezana ?
Je množica točk ozadja povezana ?

Označevanje - poplavljanje

- Rekurzija

```
Barvaj( x, y )
{
  Barvam(x,y);    // npr. Slika(x,y) = 255
  če Pogoj( Slika[x,y-1] )  Barvaj(  x, y-1);
  če Pogoj( Slika[x,y+1] ) Barvaj( x, y+1);
  če Pogoj( Slika[x-1,y] )  Barvaj( x-1, y);
  če Pogoj( Slika[x+1,y+1] ) Barvaj( x+1,y+1);
}
```

- Pogoj za barvanje je lahko marsikaj
- Pozor: rekurzija zahteva velik sklad
  Za relativno majhna področja je to priporočen način.

Označevanje

- Nerekurzivni algoritmi za označevanje so priporočljivi za relativno velika področja.
- Nerekurizivni algoritmi morajo rešiti “U problem”.

```
X X . . . . . . X X .        1 1 . . . . . . 2 2 .
X X X . . . . X X X .        1 1 1 . . . . 2 2 2 .
X X X X . X X X X X    ⇨     1 1 1 1 . 2 2 2 2 2
X X X X X X X X X X          1 1 1 1 2 2 2 2 2 2
X X X X X X X X X X          1 1 1 2 2 2 2 2 2 2
```

- Princip je naslednji: Sliko pregledujemo v predpisanem vrstnem redu (z leve na desno, od zgoraj navzdol)
  - če bi slikovni element (verjetno) pripadal novemu področju, ga označi z novo oznako
  - če je en sosed že pobarvan, ga pobarvaj enako njemu
  - če je pobarvanih sosedov več, ga pobarvaj z eno od oznak in zabeleži ekvivalenco oznak.

Razcep/združitev

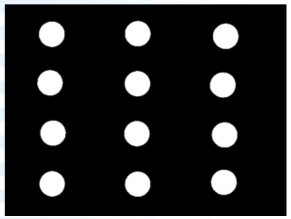
- Razcepi/združi (Angl. Split and Merge)

- Načelo je enostavno:
- Izberemo pogoj ‘homogenosti’ področja (sivina, barva, tekstura, ...)
- Začnemo z a priori delitvijo slike na področja (lahko vzamemo celo sliko)
  - Če dano področje ne izpolnjuje pogoja homogenosti, ga razcepi
  - Če področji izpolnjujeta pogoj homogenosti, ju združi.

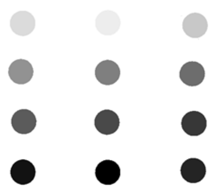
- Pristop je očitno iterativen.
- Vprašanje: kje področja cepiti/združevati

- Tipična izvedba: četverno drevo (Angl. quad-tree)

Označevanje - barvanje

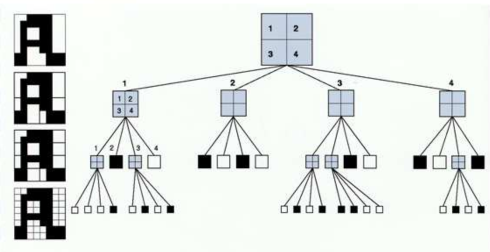


Binarna slika



Pobarvana (označena) slika

Razcep/združitev



angl. (Split and Merge), quad-tree

Morfološke operacije

Morfološke operacije (morfološko *filtriranje*) delujejo na področja in vplivajo predvsem na obliko področij.
Slike in področja slike obravnavamo kot množice slikovnih elementov.
Morfološke operacije se večinoma nanašajo na binarne slike, ni pa nujno.
Osnovne operacije:

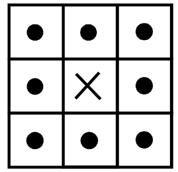
- Skrčitev in razširitev
- Odpiranje in zapiranje
- Zadetek in zgrešitev
- Skeletonizacija oziroma tanjšanje

Področja uporabe:
Mikroskopski vzorci v biologiji, medicini, metalurgiji, ...
Vizualno pregledovanje v industriji, ...

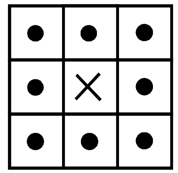
Morfološke operacije

- Osnova morfološkim operacijam je 'strukturni element'.

- Skrčitev (erozija)
  Na primer (desno), če je vsaj en sosed iz ozadja, postane tekoči element ozadje.



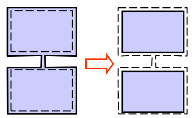
- Razširitev (dilatacija)
  če je vsaj en sosed iz ospredja, postane tekoči element „ospredje".



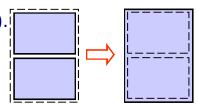
Morfološke operacije

Osnovi morfološki operaciji sta:

- Skrčitev (erozija)
  S tem se področje skrči (postane 'manjše').
  Če je kje 'zelo tanko', se lahko tudi prekine.
  Če je 'zelo majhno', lahko tudi izgine.



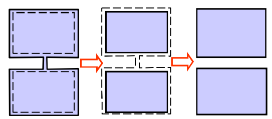
- Razširitev (dilatacija)
  S tem se področje poveča (postane 'večje').
  Če sta dve področji 'zelo skupaj', se lahko tudi stakneta - zlijeta v eno.
  Če je 'porozno', lahko postane homogeno.



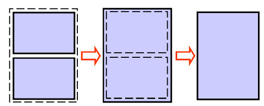
Op.: Skrčitev ter razširitev (tudi druge) sta dualni operaciji.
Skrčitev ozadja je razširitev področja predmeta.

Morfološke operacije

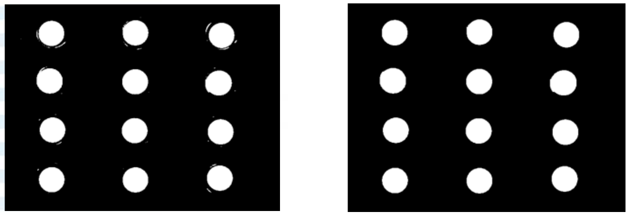
- Odpiranje (angl. Opening)
  Področje najprej skrčimo, zatem razširimo. S tem tisto, kar ostane po skrčenju, 'povrnemo v prvotno stanje'.



- Zapiranje (angl. Closing)
  Področje najprej razširimo, zatem skrčimo. S tem tisto, kar nastane po razširjenju, 'povrnemo v prvotno stanje'.

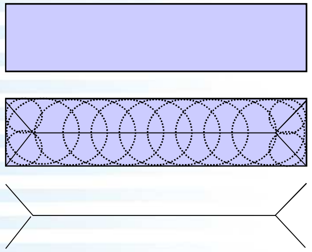


Morfološke op.- odpiranje



Morfološke operacije

- Tanjšanje (angl. Thinning) in skletonizacija.
- Skelet je množica tistih slikovnih elementov, ki so enako oddaljeni od vsaj dveh robnih elementov področja.



- Obstaja veliko algoritmov za tanjšanje
  - sekvenčni
  - paralelni

Morfološke operacije

Zadetek in zgrešitev (angl. Hit or Miss)
V tem primeru strukturni element definira slikovne elemente, ki pripadajo področju predmeta in tudi ozadju.

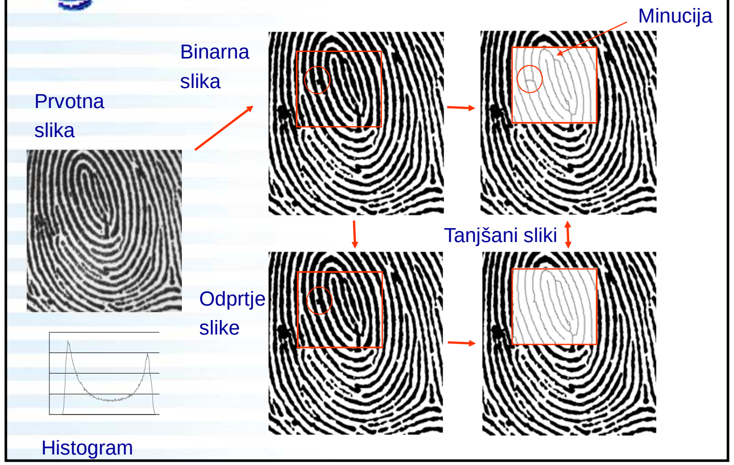
○	○	●
○	×	●
●	●	●

Tekoči slikovni element se pripiše predmetu, če se njegova okolica natančno ujema s strukturnim elementom.

Na ta način lahko na primer tanjšamo.

- Op.: Osnova vsem morfološkim operacijam je 'strukturni element'.

Morfološke op.- tanjšanje



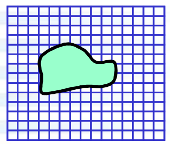
Distančna trasformacija

- (Angl. Distance transform) se po večini uporablja za binarne slike
- Vrednosti slikovnih elementov nadomestimo z razdaljo do pomembnih struktur v sliki
- Tipično: obris

```
. . . . X . . .      . . . . 1 . . .
. . X X X X X .      . . 1 1 2 1 1 .
. . X X X X X .      . . 1 2 3 2 1 .
. . X X X X X .      . . 1 1 2 1 1 .
. . . . X . . .      . . . . 1 . . .
```

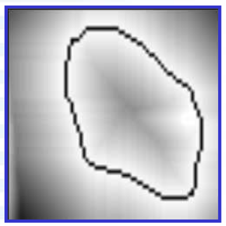
Opis področij

- Položaj (npr. koordinati težišča)
- Smer (npr. glavne osi)
- Velikost (npr. ploščina, obseg)
- Oblika (npr. 'faktor' oblike)
- Videz (oblika, tekstura, fotometrične lastnosti)



Distančna trasformacija

- Razdalja od **robnih točk** – prileganje

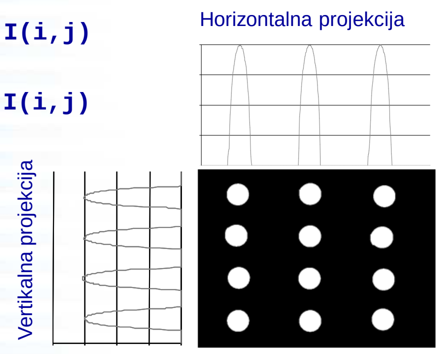


- Veliko drugih primerov uporabe, npr.primerjanje s predlogo (Angl. Template matching, Chamfer matching)

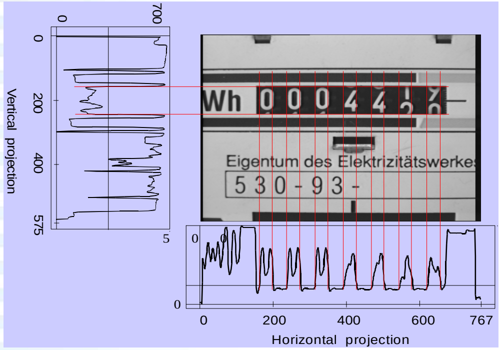
Projekcije

$$P_H(i) = \sum_j I(i,j)$$

$$P_V(j) = \sum_i I(i,j)$$

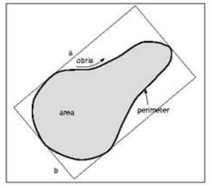


Projekcije



Oblika - ekscentričnost

ekscentričnost (tudi podolgovatost) =
glavna os / pravokotnica na glavno os = a / b



Oblika

Faktorji oblike – globalne značilke
- kompaktnost, okroglost
- podolgovatost, ekscentričnost
- momenti
- ……….
- upogibna energija obrisa

Oblika - kompaktnost

Kompaktnost (ali okroglost) = obseg^2 / ploščina

Kompaktnost =7.4

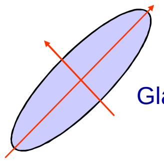
Kompaktnost =2.8

Kompaktnost =1.1

Momenti

Koordinati točke obravnavamo kot naključni spremenljivki.
Momenti reda $p+q=0,1,2,...$

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q f(x,y)$$



Centralni momenti

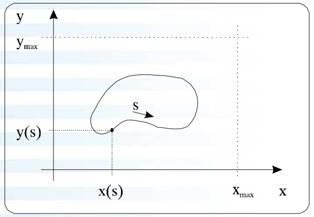
$$\mu_{pq} = \sum_{x,y} (x-x_c)^p (y-y_c)^q f(x,y) \qquad x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

Številni primeri uporabe: opis oblike, določanje položaja, smeri, postavljanje v „normalno" lego,...

Opis področja v sliki

A) Področja opišemo s slikovnimi elementi, ki mejijo z ozadjem.
B) Področje predstavimo s slikovnimi elementi, ki mu pripadajo

A) Poiščemo (sosednje) robne točke in jih povežemo v obris.
- Algoritmi za obrisovanje (sledenje obrisu)



- Vhod je 2D slika
- Izhod je parametričen zapis krivulje (obrisa)
  Slika(x, y) → (x(s), y(s))

Centralni momenti drugega reda

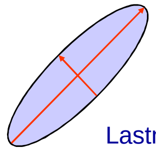
p+q=2 (kovariance)

$$\mu_{pq} = \sum_{x,y} (x-x_c)^p (y-y_c)^q f(x,y)$$

$$\mu_{20} = \sum_{x,y} (x-x_c)^2 f(x,y)$$

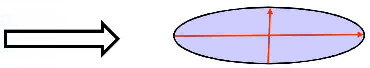
$$\mu_{11} = \sum_{x,y} (x-x_c)(y-y_c) f(x,y)$$

$$\mu_{02} = \sum_{x,y} (y-y_c)^2 f(x,y)$$



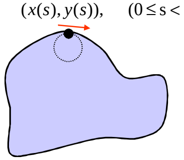
$$C = \begin{bmatrix} \mu_{20} & \mu_{11} \\ \mu_{11} & \mu_{02} \end{bmatrix} = M \Lambda M^T$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctan \frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}}$$



Oblika iz obrisa

Upogibna energija $BEN = \int_s k^2(s) ds$ $\quad (x(s), y(s)), \quad (0 \le s < L)$



Oblika iz obrisa

Ukrivljenost

$$k(s) = \frac{\ddot{y}\dot{x} - \ddot{x}\dot{y}}{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{3/2}} \qquad (x(s), y(s)), \quad (0 \le s < L)$$

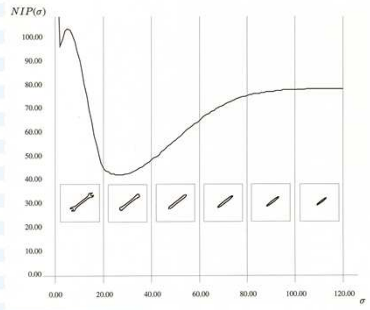
$$x(s,\sigma_i) = x(s) * g(s,\sigma_i), \qquad y(s,\sigma_i) = y(s) * g(s,\sigma_i)$$

$$\dot{x}(s,\sigma_i) = x(s) * \dot{g}(s,\sigma_i), \qquad \dot{y}(s,\sigma_i) = y(s) * \dot{g}(s,\sigma_i)$$

$$\ddot{x}(s,\sigma_i) = x(s) * \ddot{g}(s,\sigma_i), \qquad \ddot{y}(s,\sigma_i) = y(s) * \ddot{g}(s,\sigma_i)$$

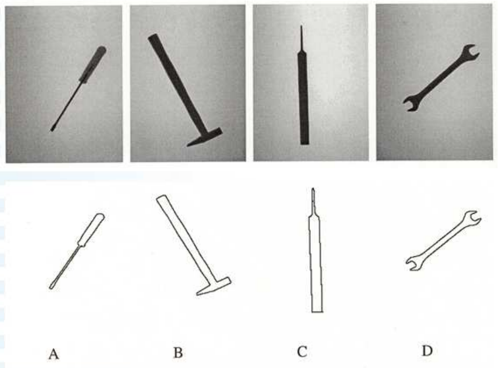
$$k(s,\sigma_i) = \frac{\ddot{y}(s,\sigma_i)\dot{x}(s,\sigma_i) - \ddot{x}(s,\sigma_i)\dot{y}(s,\sigma_i)}{(\dot{x}(s,\sigma_i)^2 + \dot{y}(s,\sigma_i)^2)^{3/2}}$$

Oblika iz obrisa

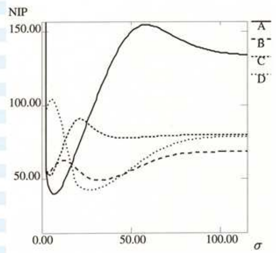


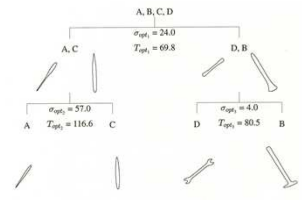
Prostor ločljivosti $\quad NIP(\sigma_i) = \int_0^L |k(s,\sigma_i)| \, ds,$

Oblika iz obrisa



Oblika iz obrisa



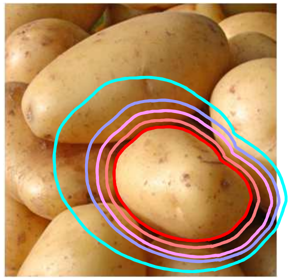


Aktivni modeli krivulj

Aktivni modeli krivulj (kače) (Kass, Witkin, Terzopoulos):
Krivuljo položimo na slikovno ravnino in jo prilagodimo na vsebino slike.

Krivuljo $v(s)=(x(s),y(s))$, $s \in [0,1]$ prilagodimo na krompir.

Želimo, da je krivulja
- zvezna
- primerno gladka in
- se dobro prilega objektu



Aktivni modeli krivulj

Elastični model krivulje

$$E_{int}(\mathbf{v}(s)) = \frac{1}{2}\left(\alpha(s)\left|\frac{\partial \mathbf{v}(s)}{\partial s}\right|^2 + \beta(s)\left|\frac{\partial^2 \mathbf{v}(s)}{\partial s^2}\right|^2\right)$$

Elastika - elastičnost

Struna - togost

Minimum energijskega funkcionala poiščemo z rešitvijo Eulerjeve diferencialne enačbe:

$$-\alpha(s)\frac{\partial^2 \mathbf{v}(s)}{\partial s^2} + \beta(s)\frac{\partial^4 \mathbf{v}(s)}{\partial s^4} + \nabla P(\mathbf{v}(s)) = 0$$

Prispevek slike

Aktivni modeli krivulj

- Imamo model obrisa in ga prilagajamo (zvijamo, raztezamo, stiskamo brez trganja ali pregibanja) na področje.

- Krivulji $v(s)=(x(s),y(s))$, $s \in [0,1]$ pripada energijski funkcional $E(v)$:

$$E(\mathbf{v}) = \int_0^1 \left(E_{int}(\mathbf{v}(s)) + E_{ext}(\mathbf{v}(s))\right)ds$$

„Prilagajamo“ pomeni iščemo stanje minimalne energije E(v).
Iščemo tak v, pri katerem ima E najmanjšo vrednost.

Notranja energija
Elastični model krivulje

Zunanja energija
Prispevek slike

Diskretna oblika kače

Z diskretizacijo po metodi končnih diferenc (za i-to točko krivulje):

$$\frac{1}{h}\left(\frac{\alpha_i}{h}(\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_{i-1}) - \frac{\alpha_{i+1}}{h}(\mathbf{v}_{i+1} - \mathbf{v}_i)\right) +$$
$$+\frac{1}{h^2}\left(\frac{\beta_{i-1}}{h^2}(\mathbf{v}_{i-2} - 2\mathbf{v}_{i-1} + \mathbf{v}_i) - \frac{2\beta_i}{h^2}(\mathbf{v}_{i-1} - 2\mathbf{v}_i + \mathbf{v}_{i+1}) + \frac{\beta_{i+1}}{h^2}(\mathbf{v}_i - 2\mathbf{v}_{i+1} + \mathbf{v}_{i+2})\right)$$
$$+\nabla P(\mathbf{v}_i) = 0.$$

Za vse točke krivulje in v matrični obliki:

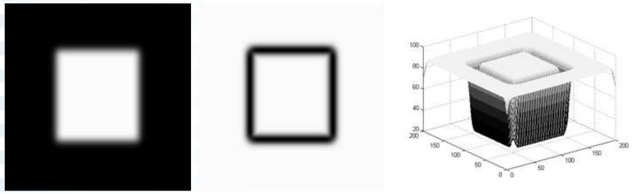
Vektor diskretnih točk krivulje

$$\mathbf{Av} + \nabla P(\mathbf{v}) = 0$$

‘Privlačno’ polje, ki ga generira slika

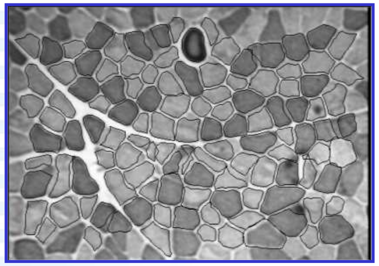
Matrika prožnosti (model krivulje)

Zunanja energija - primer



Kače v sledenju - primera

Kače – primer segmentacije

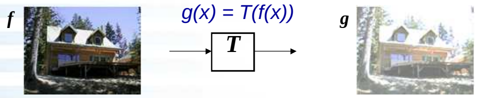


- Kače so zelo občutljive na lokalne minimume.
- Problem je inicializacija kač
- V osnovi zahtevajo gladkost krivulje - ne vsebujejo modela oblike
- Rešitev: kače z vgrajenimi modeli
- Aktivni modeli oblike (ASM) (Tim Cootes)

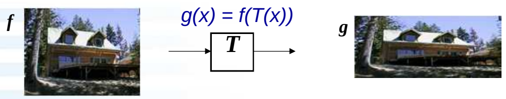
Geometrijske preslikave

Geometrijske preslikave

Filtriranje slik je predvsem transformacija vrednosti pikslov

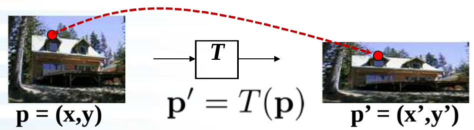


Geometrijska transformacija pa vpliva na geometrijo slike



Geometrijske transformacije so pomembne pri poravnavanju oz. usklajevanju oz. registraciji slik (Angl. Image registration) in še marsikje.

Globalne transformacije

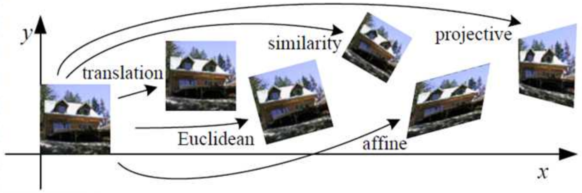


Transformacija T točki p spremeni koordinate
Globalna transformacija je enaka za vse piksle.
(Lokalne transformacije ne delujejo enako na vse piksle).

Linearno transformacijo zapišemo z matriko.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \mathbf{M} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \qquad \mathbf{p}' = \mathbf{M} \cdot \mathbf{p}$$

Geometrijske transformacije

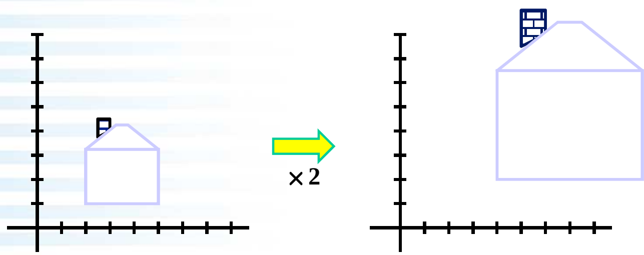


Osnovne transformacije:
Premik ali translacija (angl., translation)
Evklidska (angl., Euclidean) == rotacija in premik (tudi toga oz „rigidna")
Podobnostna (angl., similarity) == rotacija, premik, velikost ali „skala"
Afina (angl., affine) ... ohranja vzporednost ravnih črt
Projektivna (angl., projective) ... vzporedne črte niso več vzporedne
------
Poleg teh so pa še „krive" oz „deformabilne" (angl. Deformable).
Prav te so danes predmet številnih raziskav.

Uniformno skaliranje

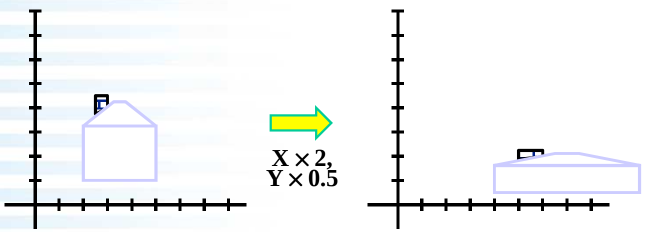
Skaliranje **pomeni, da vse koordinate pomnožimo s skalarjem.**

Uniformno skaliranje **pomeni, da je skalar enak za vse koordinatne osi.**



Neuniformno skaliranje

Neuniformno skaliranje pomeni, da vsako koodinatno os pomnožimo s svojim skalarjem.
Oblika predmetov se zato spremeni.



Rotacija, strig in zrcaljenje

Rotacija okoli izhodišča:

$$x' = \cos\Theta x - \sin\Theta y$$
$$y' = \sin\Theta x + \cos\Theta y$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\Theta & -\sin\Theta \\ \sin\Theta & \cos\Theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

Striženje:

$$x' = x + \alpha_x y$$
$$y' = \alpha_y x + y$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_x \\ \alpha_y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

Zrcaljenje:

$$x' = -x$$
$$y' = -y$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

Skaliranje

Operacija skaliranja zapisana po komponentah

$$x' = ax$$

$$y' = by$$

Operacija skaliranja v matrični obliki

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

matrika skaliranja S

Linearne transformacije

Transformacija premika slike ni linearna v 2D prostoru

$$x' = x + t_x$$
$$y' = y + t_y$$

Zato vpeljemo homogene koordinate

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \qquad \mathbf{M} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + t_x \\ y + t_y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Osnovne 2D transformacije

Transformacije kot matrike velikosti 3x3 (homogene koordinate)

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

translacija

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

skaliranje

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\Theta & -\sin\Theta & 0 \\ \sin\Theta & \cos\Theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

rotacija

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_x & 0 \\ \alpha_y & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

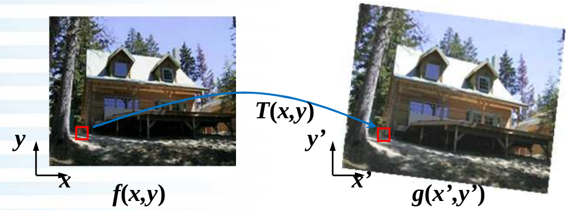
striženje

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

projektivna transformacija

Izvedba transformacije

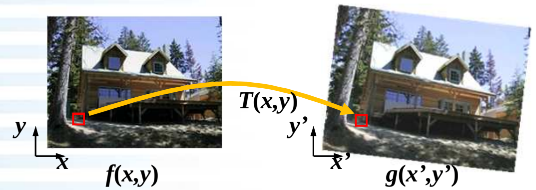
Poznamo transformacijo [x',y'] = T(x,y) in izvorno sliko f(x,y).
Kako izračunamo transformirano sliko g(x',y') = f(T(x,y)) ?



Osnovne 2D transformacije

Transformacija	Matrika	#DoF	Ohranja	Ikona
Translacija	$[\mathbf{I}\|\mathbf{t}]_{2\times 3}$	2	smer	
Toga (Evklidska)	$[\mathbf{R}\|\mathbf{t}]_{2\times 3}$	3	dolžine	
Podobnostna	$[s\mathbf{R}\|\mathbf{t}]_{2\times 3}$	4	koti	
Afina	$[A]_{2\times 3}$	6	vzporednost	
Projektivna	$[H]_{3\times 3}$	8	ravnost	

Naivna transformacija



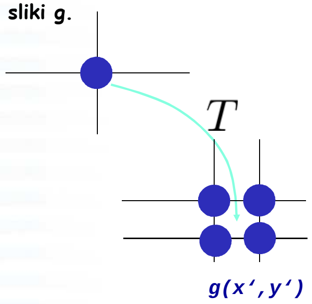
Za vsak piksel iz *f* na koordinatah *(x,y)*

- **Izračunaj nove koordinate, *[x',y']=T(x,y)*.**
- **Na nove koordinate v sliki *g(x',y')* „prenesi" barvo piksla *f(x,y)***

Težave?

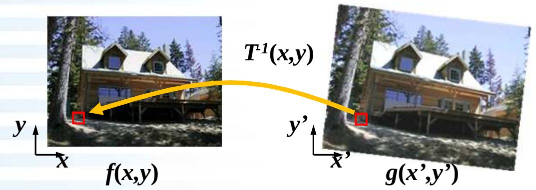
Težava naivne transformacije

V splošnem preslikani piksel iz f
ne pade na mrežo v sliki g.



Možni primeri:
Več pikslov iz *f* se preslika v piksel v *g*.
Noben piksel iz *f* se ne preslika v piksel *g-ja*.

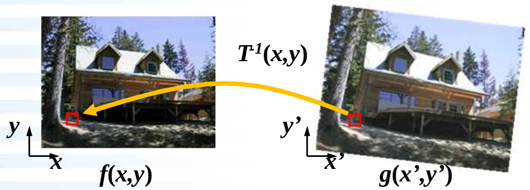
Manj naivna transformacija



Problem interpolacije: *Barvo katerega piksla potem vzeti?*

- Vzemi barvo najbližjega soseda v *f* na transformiranih koordinatah $T^{-1}(x,y)$ (angl., nearest neighbor)
- Barvo piksla izračunaj iz več najbližjih sosedov v *f*:
  - Bilinearna, bikubična, … itd.
- Op.: Za večino primerov zadostuje „bilinearna“ oz 2d linearna.

Manj naivna transformacija



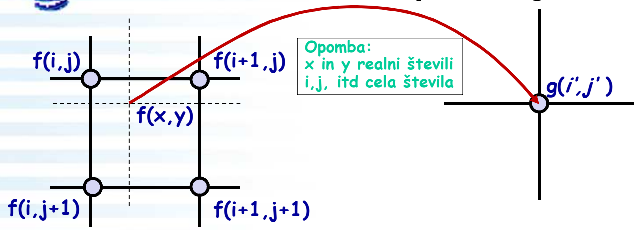
Za vsak piksel iz *g* na koordinatah *(x',y')*

- Izračunaj koordinate (x,y) preko inverza *[x,y]=T^{-1}(x',y')*
- Barvo piksla *f(x,y)* preslikaj v barvo piksla *g(x',y')*

Postopek zagotavlja, da zapolnimo vse piksle v sliki *g(x',y')*

- *vendar sedaj koordinate (x,y) ne ležijo nujno na mreži slike f.*

Bilinearna interpolacija



Na primer najprej po x:

f(x,j) = (i+1-x)*f(i+1,j) + (x-i)*f(i,j)
f(x,j+1) = (i+1-x)*f(i+1,j+1) + (x-i)*f(i,j+1)

nato po y:

f(x,y) = (j+1-y)*f(x,j+1) + (y-j)*f(x,j)

in vrednost piksla v transformirani sliki je:

g(i',j') = f(x,y)

Interpolacija/decimacija

Transformacije povzročijo spreminjanje (lokalne ali globalne) ločljivosti v sliki.

Dva tipična primera:

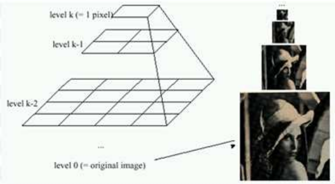
- Redukcija ali decimacija – zmanjševanje slike (angl., downsampling, decimation)
- Povečava ali interpolacija – povečevanje slike (angl., upsampling, interpolation)

Slikovne piramide

Predstavi sliko kot zaporedje slik, kjer vsaka naslednja slika predstavlja „nizko frekvenčni ostanek“ prejšnje slike.

Gaussova piramida:

- Sliko zgladimo z Gaussovim filtrom in jo zmanjšamo na pol
- Postopek ponovimo na zmanjšani sliki



Veliko primerov uporabe:
Poravnavanje slik
Kodiranje slik
Segmentacija slik
Zlivanje (fuzija) slik.
Itd.

[Burt and Adelson, 1983]

Pomembno

Predno sliko „zmanjšamo“ oziroma podvzorčimo, ji moramo odstraniti visoke frekvence:

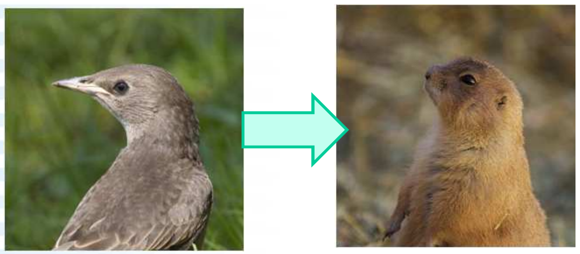
- Najprej odstrani visoke frekvence z Gaussovim filtrom
- Nato podvzorči z metodo najbližji sosed (ali višjega reda)
- S tem preprečimo „zrcaljenje“ visokih v nizke frekvence.

Nelinearne lokalne transformacije

$$x' = x'(x,y) = x + u(x,y) = x + u_x x + uyy$$
$$y' = y'(x,y) = y + v(x,y) = y + vxx + vyy$$

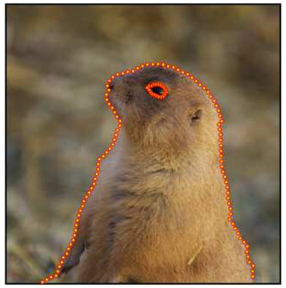
Potrebujemo gosto polje deformacij – nelinearen predpis, ki nam za vsak piksel predpiše novo lego.

Temeljno prašanje: kako določiti polje deformacij?



Primer gladke deformacije

Ročno označimo korespondenčne točke v slikah



Področja uporabe

Poravnavanje slik
Mozaičenje
Segmentacija
Razpoznavanje objektov

Kartografija, GIS*
Proizvodna kontrola, nadzor
Medicina
itd

Poravnava zahteva:
- merjenje podobnosti med slikama (kdaj drugič)
- transformacijo eno od slik ali obeh

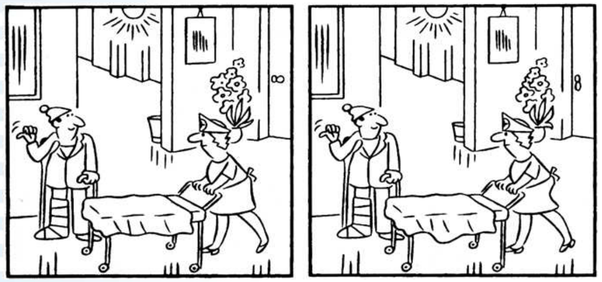
Primer gladke deformacije

Interpoliraj kontrolne točke tako, da dobimo nove lokacije točk

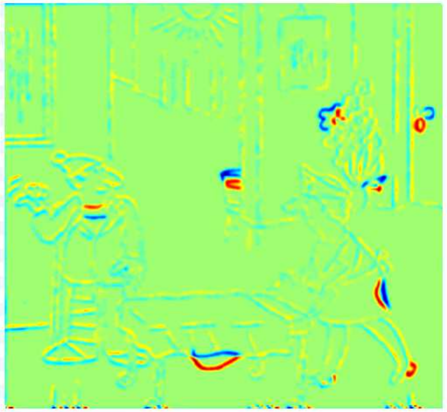
Ampak pravi izziv je kako določiti korespondeco avtomatično

Poravnavanje slik

Sliki se razlikujeta v osmih podrobnostih. Jih najdeš?



Poravnavanje slik

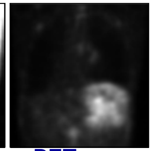


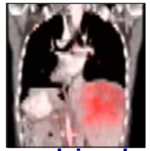
Primeri poravnav (1)

Združevanje informacije CT in PET slik:


CT

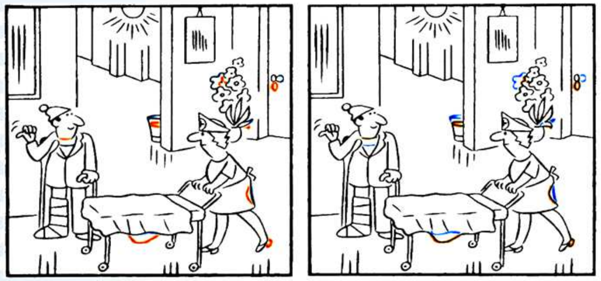

PET-tr


PET-em


combined CT and PET-em

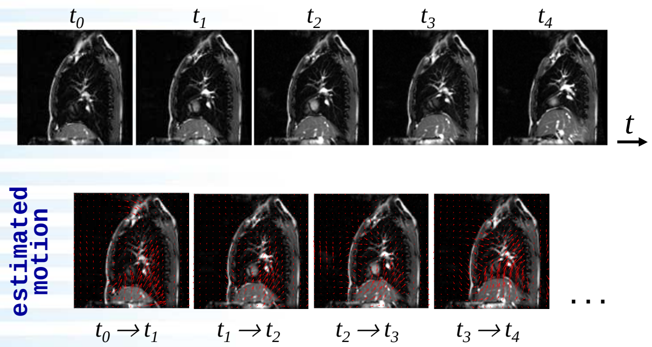
Poravnavanje slik

S poravnavo lahko ugotavljamo <u>razlike</u> med slikami!



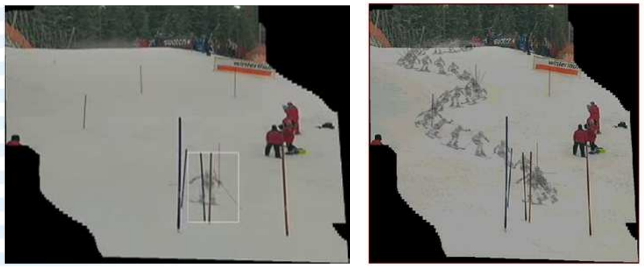
Primeri poravnav (2)

Rekonstrukcija gibanja pri dihanju:



Mozaičenje

S poravnavo lahko „šivamo“ slike



I. Lesjak, A. Leonardis (mozaičenje)

Literatura

- R. Gonzalez, R. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall, 2002.
- M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle, Image Processing, Analysis, and Machine Vision, PWS Publishing, 1999.
- HyperMedia Image Processing Reference http://www.cee.hw.ac.uk/hipr/html/hipr_top.html
- Matrox Inspector